

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



Testy keramických řezných nástrojů TaeguTec na materiálu
C45 na simulátoru přerušovaného řezu

Testing of ceramic cutting tools TaeguTec Ceramic Cutting
Tools on material C45 with an Interrupted Cut Simulator

Student:

Tošenovský Jan

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2011

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

V Ostravě 23.5.2011

Jan Tošenovský

Jan Tošenovský

Prohlašuji že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3)
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23.5.2011.....

Jan Tošenovský.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Tošenovský

Adresa trvalého pobytu autora práce: Radim 116

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TOŠENOVSKÝ, J. *Testy keramických řezných nástrojů TaeguTec na materiálu C45 na simulátoru přerušovaného řezu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 40 s. Vedoucí práce: Doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá testováním keramických řezných destiček soustružením při přerušovaném řezu. První část je věnována seznámení s řeznou keramikou a opotřebení řezných nástrojů. Ve druhé části jsme se věnovali samotnému měření. Keramické destičky AW20 a AB30 byly dodány firmou TaeguTec. Byly testovány při dvou řezných rychlostech ($408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) a čtyřech posuvech (0,15 mm; 0,2 mm; 0,25 mm; 0,3 mm). Hloubka řezu byla nastavena na 1 mm. Test byl proveden na materiálu C45 (ČSN 12 050). Cílem testu bylo zjistit, zda jsou destičky vhodné pro obrábění s přerušovaným řezem. Pokud destička vydržela 6000 rázů, byla vyhodnocena jako úspěšná a testování bylo ukončeno.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

TOŠENOVSKÝ, J. *Taegutec Ceramic Cutting Tool on material C45 with an Interrupted Cut Simulator. Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Maching and Assembly, 2011, 40 p. Thesis head: Doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Bachelor work deals with the testing of ceramic cutting tools at interrupted cut settings by turning. First part of bachelor work is concentrated on meeting with ceramic cutting tools. Second part, we devote itself to measurement. Ceramic cutting tools AW20 and AB30 were supplied by Taegutec. Were tested at two cutting speeds ($408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) and four feeds (0,15 mm; 0,2 mm; 0,25 mm; 0,3 mm). Depth of cut was set at 1 mm. The test was performed on C45 (ČSN 12 050) material. The object of test was determine whether the plates are suitable for working with interrupted cut. If the plate withstand 6000 shocks has been assessed as successful, and testing was completed.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	3
1. ÚVOD.....	4
2. ŘEZNÁ KERAMIKA	5
2.1. Výchozí materiály pro výrobu řezné keramiky	5
2.2. Rozdělení řezné keramiky	6
2.3. Vlastnosti řezné keramiky	6
2.4. Podmínky efektivního využití řezné keramiky	7
2.5. Faktory snižující pevnost keramiky	7
2.6. Využití řezné keramiky v praxi.....	8
3. OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ.....	10
3.1. Základní mechanizmy opotřebení.....	10
3.2. Kritéria opotřebení	11
3.3. Druhy opotřebení břitů nástroje	13
3.3.1. Opotřebení hřbetu břitu	14
3.3.2. Opotřebení ve tvaru žlábků na čele břitu.....	14
3.3.3. Plastická deformace břitu	15
3.3.4. Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu.....	15
3.3.5. Hřebenovité trhliny na ostří.....	16
3.3.6. Únavový lom	16
3.3.7. Vydrolování ostří.....	17
3.3.8. Lom břitu nástroje	17
3.3.9. Tvoření nárůstku.....	18
3.4. Experimentální měření opotřebení.....	18
3.4.1. Přímé metody měření opotřebení	18
3.4.2. Nepřímé metody měření opotřebení	19
4. METODIKA TESTOVÁNÍ V PODMÍNKÁCH PŘERUŠOVANÉHO ŘEZU .	20
4.1. Příčné soustružení	20
4.2. Podélné soustružení	21
5. TESTOVÁNÍ KERAMICKÝCH BŘTOVÝCH DESTIČEK TAEGUTEC.....	23
5.1. Obráběcí stroj.....	23
5.2. Testované destičky.....	23

5.3.	Řezné podmínky	24
5.4.	Materiál obrobku (lišt)	24
5.5.	Nástrojový držák	25
5.6.	Vyhodnocovací zařízení	26
5.7.	Testování keramických destiček	26
5.7.1.	Destička TaeguTec AW20.....	26
5.7.2.	Destička TaeguTec AB30.....	31
5.8.	Porovnání břitových destiček AW20 a AB30.....	35
6.	ZÁVĚR	37
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	39

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Význam	Jednotka
HV	tvrdost podle Vickerse	-
R _{md}	pevnost v tlaku	MPa
R _{mo}	pevnost v ohybu	MPa
HB	tvrdost podle Brinela	-
HRC	tvrdost podle Rockwella	-
VB	šířka opotřebené plochy na hřbetě	mm
KB	šířka žlábků na čele	mm
KT	hloubka žlábků na čele	mm
KL	vzdálenost ostří k okraji žlábků	mm
KM	vzdálenost ostří ke středu žlábků	mm
VR	radiální otupení	mm
T	teplota	°C
R	počet rázů	-
VBD	vyměnitelná břitová destička	-
a _p	hloubka řezu	mm
v _f	posuvová rychlost	m·min ⁻¹
v _c	řezná rychlost	m·min ⁻¹
f	posuv nástroje	mm
l	obrobená délka	mm
l _{kr}	kritická délka	mm
α _o	ortogonální úhel hřbetu	°
γ _o	ortogonální úhel čela	°
λ _s	úhel sklonu ostří	°
κ _r	úhel nastavení hlavního ostří	°
ε _r	úhel špičky nástroje	°

1. ÚVOD

V dnešní době se používá velké množství druhů řezných materiálů. Od nástrojových ocelí přes slinuté karbidy, cermety, řeznou keramiku až po supertvrdé materiály. Je to výsledek dlouhodobého výzkumu a vývoje v oblasti řezných materiálů a úzce souvisí s vývojem konstrukčních materiálů, které je potřeba efektivně obrábět. Dnes ani v nejbližší době je velmi malá pravděpodobnost, že bude vyvinut zcela nový řezný materiál. Proto výzkumné týmy všech výrobců snaží vylepšit technologii výroby a vlastnosti dosud známých materiálů.

Řezná keramika je užívána pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi a nízkými posuvovými rychlostmi, protože má vysokou tvrdost za tepla a vysokou termochemickou stabilitu. Řezná keramika je vynikajícím nástrojovým materiálem pro obrábění šedých litin, ale není příliš vhodná pro obrábění ocelí a tvárných litin kde vykazuje rychlé opotřebení (s výjimkou oxidových keramik typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$)

V posledních letech se některé vlastnosti řezné keramiky zdokonalily. Díky toho ji můžeme použít nejen u obrábění s plynulým řezem ale i u obrábění s přerušovaným řezem.

Cílem této práce je zjistit jestli je možné používat řeznou keramiku na obrábění s přerušovaným řezem na materiálu C45.

2. ŘEZNÁ KERAMIKA

Keramika je obecně definována převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly) ale i brousící materiály a řadu tzv. nových keramických látek, jako je oxidová keramika, ferity, feroelektrika, nitridy, karbidy, boridy a další. Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z velmi čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická. Většina látek zařazovaných pod pojem nová keramika jsou látky krystalické, na rozdíl od tradiční keramiky (porcelán, glazury) která obsahuje i značný podíl skelné (amorfni) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými i kovalentními, jejich vazba není ale čistě iontové nebo čistě kovalentní, obvykle se vyskytují oba typy vazby současně. V krystalové struktuře, tvořící základ keramických materiálů, převažují složité mřížky kubické a hexagonální. [1]

2.1. Výchozí materiály pro výrobu řezné keramiky

Výchozí materiály pro výrobu řezné keramiky se dělí na:

- oxidy (Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3)
- Karbidy (TiC , SiC)
- Nitridy (Si_3N_4 , TiN)

Všechny tyto materiály vykazují velkou stabilitu a vysokou tvrdost, tlakovou pevnost a odolnost proti vysokým teplotám.

Oxid hlinitý (Al_2O_3)

Je nejčastěji vyráběn z bauxitu Bayernovou metodou – čistota konečného produktu dosahuje až 99,9%

Oxid zirkoničitý (ZrO_2)

Vyazuje o 50% nižší tvrdost než Al_2O_3 ale má podstatně vyšší houževnatost a ohybovou pevnost. Vyrábí se z křemičitanu zirkoničitého (ZrSiO_4)

Nitrid křemíku (Si_3N_4)

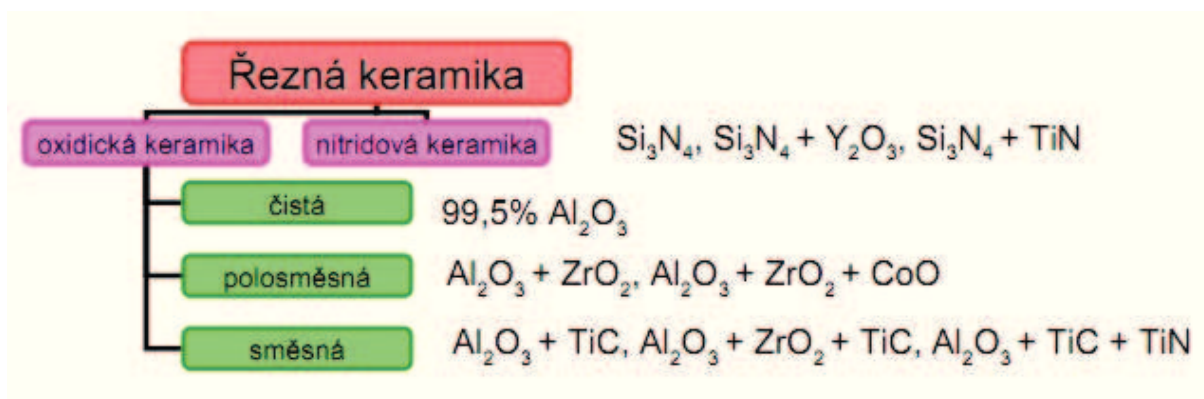
Nitrid křemíku existuje jako sloučenina ve dvou modifikacích (nizkoteplotní a vysokoteplotní – je měkčí než nizkoteplotní ale je houževnatější).

Tab. 2.1 Teploty tavení a tvrdosti vybraných keramických materiálů [1]

Materiál	Teplota tavení [°C]	Tvrdost [HV]
Al_2O_3	2050	2000
ZrO_2	2700	-
Si_3N_4	1900	1000
SiC	2200	2500

2.2. Rozdělení řezné keramiky

Rozděluje se podle chemického složení na dva základní typy (normou přesně stanovené rozdělení neexistuje)



Obr. 2.2 Rozdělení řezné keramiky [9]

2.3. Vlastnosti řezné keramiky

Kromě jiných oblastí se keramické materiály velmi často používají zejména pro výrobu řezných nástrojů, kde jsou s výhodou využívány především tyto jejich vlastnosti:

- vysoká tvrdost a odolnost proti plastické deformaci
- odolnost proti mechanickému namáhání (zejména tlakem)
- odolnost proti působení vysokých teplot

- vysoká chemická stabilita, inertnost vůči obráběnému materiálu
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi
- nízká měrná hmotnost
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů
- poměrně nízká cena [1]

2.4. Podmínky efektivního využití řezné keramiky

Řezná keramika patří mezi velmi výkonné nástrojové materiály, její úspěšné nasazení ve strojírenské výrobě však vyžaduje dodržet určité zásady, aby se její výhodné vlastnosti mohly v plné míře projevit a nevýhodné potlačit. Mezi hlavní podmínky efektivního využití řezné keramiky patří:

- vysoká tuhost systému stroj-nástroj-obrobek (kmitání jakéhokoli druhu výrazně snižuje životnost nástroje)
- použití výkonných obráběcích strojů a širokým rozsahem posuvů a otáček
- výborný stav obráběcího stroje
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku
- odstranění kůry obráběného polotovaru (u odlitků výkovků i válcovaného materiálu) jiným druhem nástrojového materiálu
- sražení náběhových hran na obrobku
- najíždění a vyjíždění z řezu při snížených hodnotách posuvu na otáčku
- výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky
- správná volba tvaru břitové destičky [1]

2.5. Faktory snižující pevnost keramiky

S teplotou ohybová pevnost keramik klesá, z počátku pozvolna, za vysokých teplot rychleji. I když keramické materiály mají za studena většinou nižší pevnost než materiály kovové, uchovávají si ji až do značně vysokých teplot, kdy u kovů již dochází k prudkému poklesu pevnosti.

Pevnost keramiky je snižována zejména v důsledku působení těchto faktorů:

- Strukturní defekty atomárních a submikrometrických rozměrů
- Vady a koncentrátoři napětí příslušející mikrostruktuře
- Povrchové mikrotrhlky a vady
- Trhlky a vady vzniklé nesprávným technologickým postupem

Tab. 2.2 Porovnání ŘK s ostatními řeznými materiály [9]

Řezný materiál	Tvrdost HV	Pevnost v tlaku R_{md} (MPa)	Pevnost v ohybu R_{mo} (MPa)	Teplotní odolnost (°C)
Rychlořezná ocel	750-800	2500-3500	2000-3000	560-610
Slinuté karbidy	1300-2000	4000-5600	900-2200	900-1100
Řezná keramika	2000-2800	3500-4500	450-1000	1300-1600
Kubický nitrid bóru	4500	4000	600	1500
Diamant	7000	3000	300	320-720

2.6. Využití řezné keramiky v praxi

Řezná keramika patří do skupiny netradičních řezných materiálů, její použití v obrábění představuje 4-5% z celkového objemu řezných materiálů. Existují ale specifické oblasti, kde řezná keramika představuje daleko vyšší procento, jedná se o letecký, kosmický a automobilový průmysl. Zde keramika přispěla k celkové intenzifikaci řezného procesu, protože díky svým vlastnostem umožňuje dosahovat i řezných rychlostí vyšších než 1000m/min. Většina druhů řezných keramik má jen úzkou specifickou oblast.

Tab. 2.3 Oblasti využití nástrojů z řezné keramiky [9]

Druh řezné keramiky	Charakteristické použití řezné keramiky	Charakter řezu
Al_2O_3	Obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem vysokými rychlostmi za sucha	Dokončovací operace
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	Obrábění šedé, tvárné a kujné litiny vytvrzené na 300HB. Obrábění uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzené na 38HRC za sucha	Střední a dokončovací operace, částečně přerušovaný řez
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	Obrábění kalených ocelí a těžko obrobitelných materiálů s částečně přerušovaným řezem za sucha i s chlazením, obrábění šedé litiny a tvrzených litin	Střední a dokončovací operace včetně frézování
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$	Obrábění žáruvzdorných slitin a žárovevých materiálů a kalené oceli	Hrubovací a dokončovací operace
Sialony	Hrubé obrábění superslitin na bázi niklu pro letecké motory a pro použití v agresivním prostředí. Řezy vyžadující vysoký posuv, rychlost nebo hloubku. Litina při vysokých rychlostech	Hrubovací a dokončovací operace
Si_3N_4	Hrubé soustružení a frézování všech druhů litiny v těžkých podmínkách. Soustružení žáruvzdorných slitin na bázi niklu za sucha i s chlazením	Hrubovací a dokončovací operace

3. OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

Při procesu obrábění dochází k vzájemnému kontaktu a relativnímu pohybu nástroje s obrobkem, a také nástroje s třískou. Opotřebení je postupně probíhající proces, při kterém se postupně zvětšuje poloměr zaoblení ostří, zhoršuje se drsnost plochy čela a hřbetu v místech styku s třískou a plochou řezu, postupně mění geometrii břitu. Rychlost opotřebení je závislá především na materiálu břitu řezného nástroje, na jeho geometrii, na materiálu obrobku, na použitých řezných podmínkách, použitým řezným prostředím.

3.1. Základní mechanismy opotřebení

Abraze – brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje

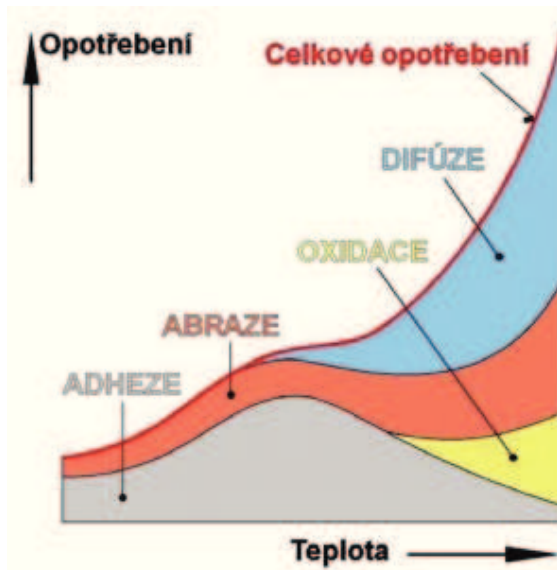
Adheze – vznik a okamžité následné porušování mikrobarů na stýkajících se nerovnostech čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků

Difuze – Migrace atomů z obráběného materiálu do nástrojového a naopak, a vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje

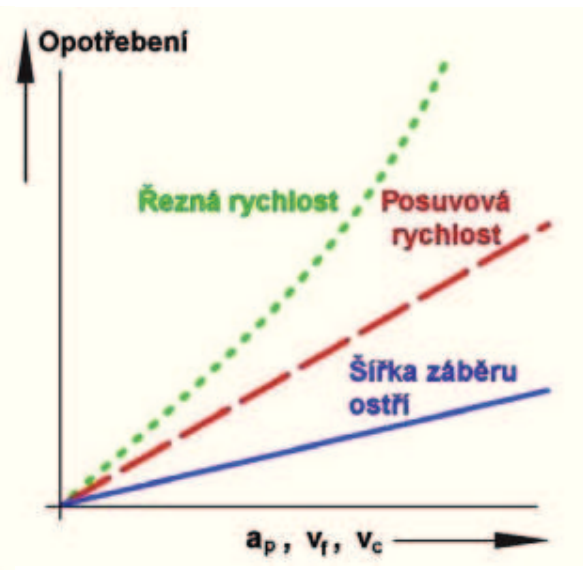
Oxidace – vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí

Plastická deformace – důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení kumulovaného v čase

Křehký lom – důsledek vysokého mechanického zatížení, například přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu.

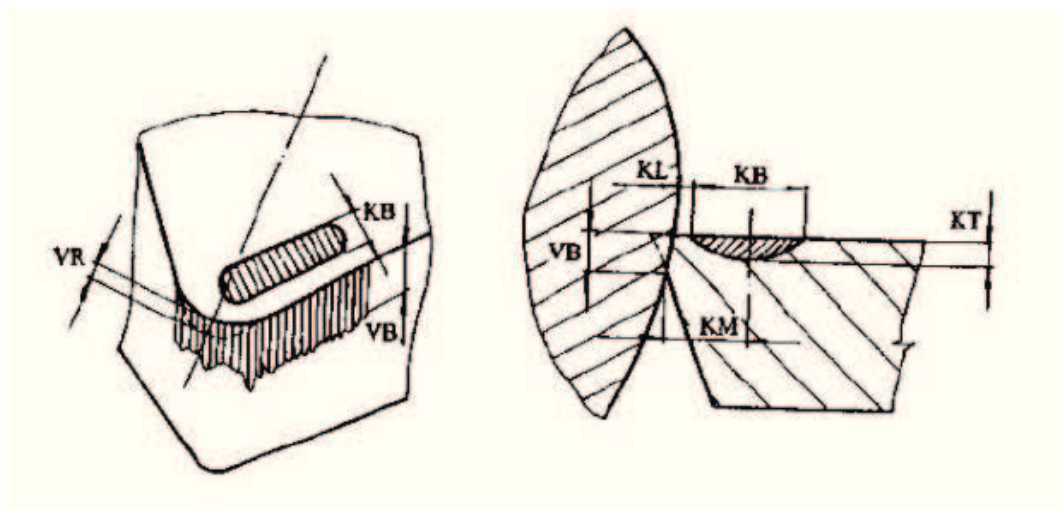


Obr. 3.1 Vliv teploty na jednotlivé mechanizmy opotřebení [2]



Obr. 3.2 Vliv řezných podmínek na opotřebení [2]

3.2. Kritéria opotřebení



Obr. 3.3 Délkové charakteristiky otupení břitu

VB – šířka opotřebené plochy na hřbetě

KB – šířka žlábků na čele

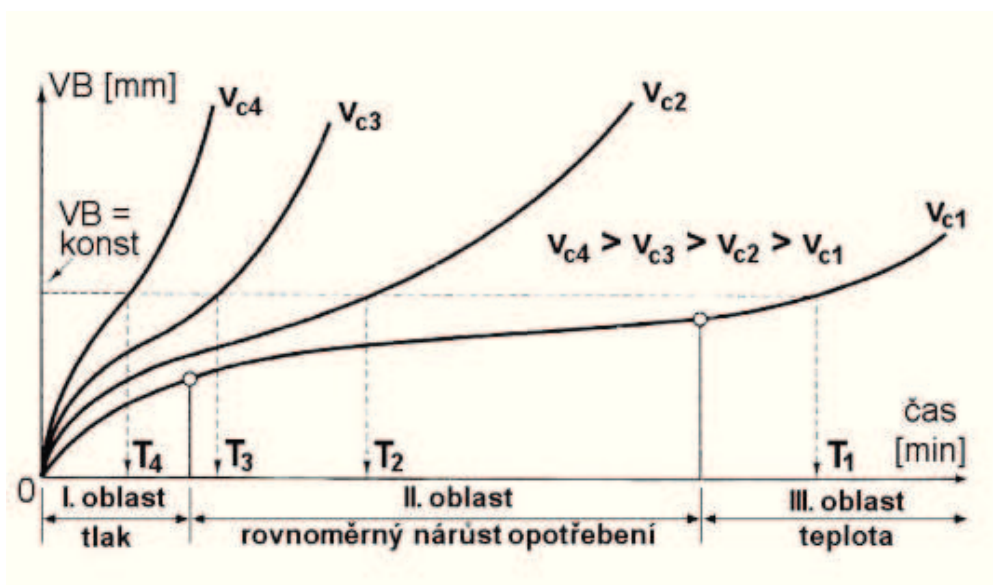
KT – hloubka žlábků na čele

KL – vzdálenost ostří k okraji žlábků

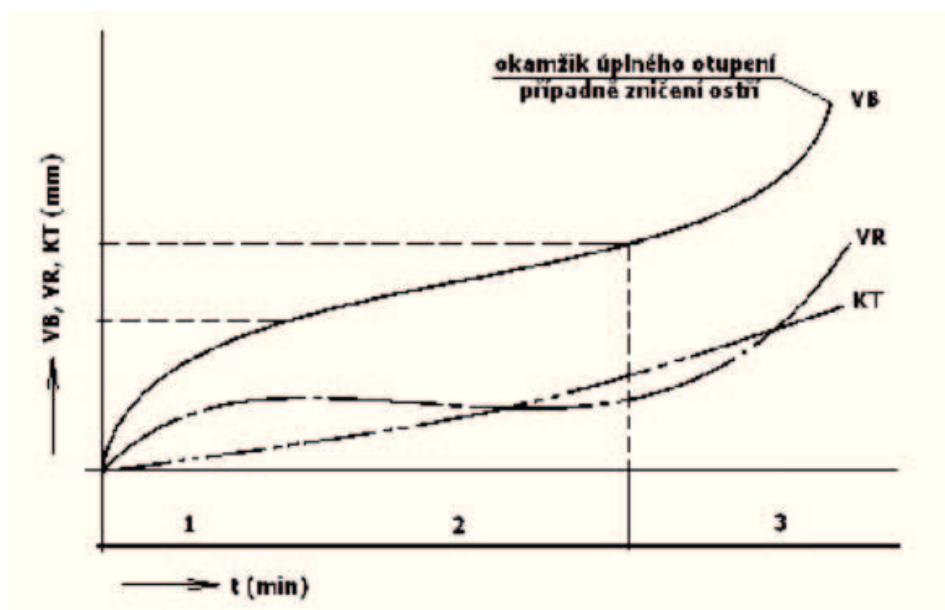
KM – vzdálenost ostří ke středu žlábků

VR – radiální otupení

Doporučené hodnoty kritéria VB leží v rozsahu $0,2 \div 0,8$ mm, jeho charakteristický časový průběh je uveden na obrázku č. 3.14 (křivka pro nejmenší řeznou rychlost v_{c1}). Poměrně rychlý nárůst hodnoty VB v oblasti I je způsoben velkým měrným tlakem, který působí na styku hlavního hřbetu nástroje s přechodovou plochou obrobku v důsledku velmi malé stykové plochy. V oblasti II hodnota VB rovnoměrně narůstá v důsledku působení základních mechanismů opotřebení, nakumulované tepelné zatížení nástroje znamená výrazné zvýšení intenzity opotřebení v oblasti III. [2]



Obr. 3.4 Časová závislost opotřebení různé rychlosti [2]



Obr 3.5. Typické průběhy opotřebení VB, VR a KT na době řezání [3]

1 – oblast zrychleného záběhového opotřebení

Obyčejně souvisí se záběhem nástroje a je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích nerovností nástroje.

2 – Oblast lineárního opotřebení

Dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení a intenzita je konstantní

3 – Oblast zrychleného nadměrného opotřebení

Bývá obvykle spojeno s limitní teplotou řezání a poklesem tvrdosti nástroje, nastává velmi rychlé, většinou lavinovité opotřebení. [3]

3.3. Druhy opotřebení břitů nástroje

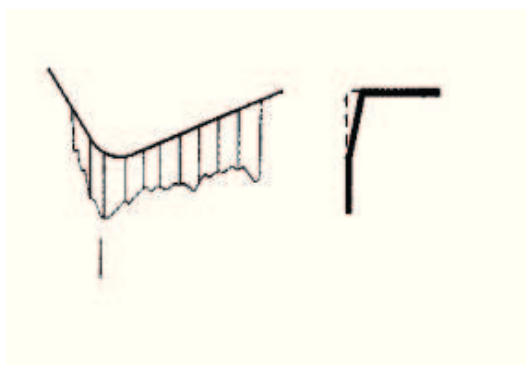
Klasifikace typů opotřebení břitu nástroje byla provedena za účelem vytvoření báze při posouzení operací obrábění a tím i možnosti ovlivnění produktivity. Mimo to jsou pro volbu správných druhů řezných nástrojových materiálů s pro určení odpovídajících parametrů obrábění k dispozici i následující kritéria obrábění:

- Přesnost rozměrů
- Jakost obrobené plochy
- Kontrolovaný odchod třísky [3]

Při zvětšeném pohledu na břit nástroje můžeme posoudit, jaké opotřebení jsou na něm viditelná a můžeme kontrolovat vhodnost trvanlivosti a spolehlivosti. Pro každý proces obrábění existuje optimální průběh opotřebení. Předpoklady pro vznik optimálního průběhu opotřebení jsou správný nástroj, odpovídající řezné podmínky, kvalifikovaná odborná pomoc, vlastní zkušenosti a dobrá jakost materiálu obrobku.

3.3.1. Opotřebení hřbetu bříty

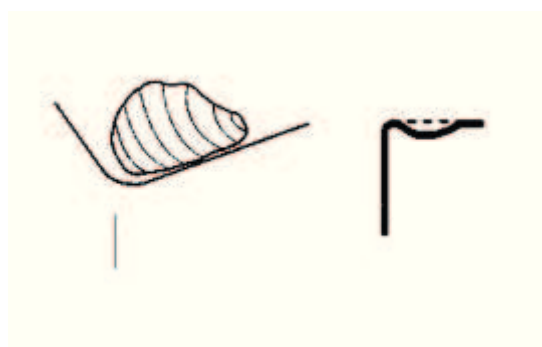
Projevuje se na hřbetní ploše bříty a patří mezi abrazivní formy opotřebení. Materiál obrobku působí zvláště na plochy hřbetu u hlavního ostří, poloměru špičky, vedlejšího ostří, nebo na čelní fasetce. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení, přičemž stejnoměrně se zvětšující opotřebení hřbetu bříty je často považováno za ideální. Příliš velké opotřebení hřbetu bříty má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie bříty.



Obr. 3.6 Opotřebení hřbetu [6]

3.3.2. Opotřebení ve tvaru žlábků na čele bříty

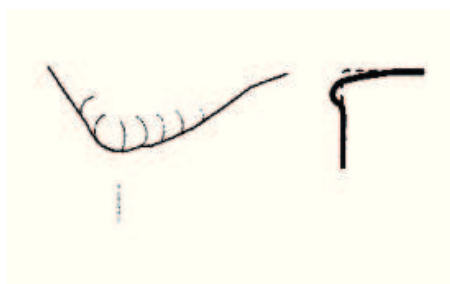
Je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká hlavně difúzí v místě bříty kde je nejvyšší teplota. To je v kontaktním místě mezi materiálem bříty a třískou. Opotřebení ve tvaru žlábků vzniká také částečně úběrem řezného nástrojového materiálu, vyvolaným brousícím pochodem, který způsobují tvrdé částice v materiálu obrobku. Tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiály obrobku a bříty nástroje snižují tendenci ke vzniku tohoto opotřebení.



Obr. 3.7 Opotřebení ve tvaru žlábků na čele bříty [6]

3.3.3. Plastická deformace břitu

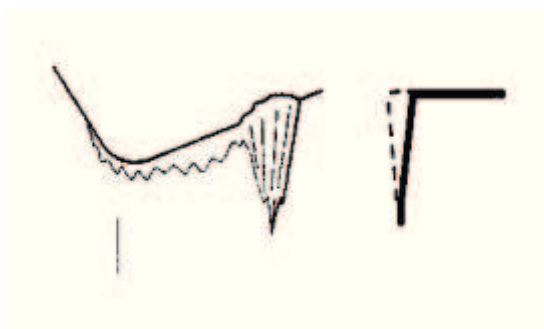
Vzniká kombinací vysoké teploty a řezných tlaků na břit. Vysoké řezné rychlosti a posuvy, jakož i tvrdé materiály obrobků vyvolávají vznik vysokých teplot a tlaků. Tvrdost za tepla je rozhodujícím faktorem u materiálů, které odolávají těmto zatížením a plasticky se nedeformují. Typická deformace břitu ještě více kvůli tření zvyšuje teploty. Má za následek změnu geometrie břitu a změny v odchodu třísek. Toto opotřebení lze zmenšit použitím správného zaoblení ostří a volbou správné geometrie břitu.



Obr. 3.8 Plastická deformace břitu [6]

3.3.4. Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu

Je způsobeno adhezním a stejně tak oxidačním opotřebením. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky a to v přesně v místě, kde vzduch proniká do místa obrábění. Opotřebení ve tvaru vrubu na vedlejším hřbetě břitu má mechanické příčiny. Jejich původci jsou tvrdé částice materiálu obrobku. Mimořádně velké opotřebení ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může dojít dokonce k lomu. [2]



Obr. 3.9 Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu [6]

3.3.5. Hřebenovité trhliny na ostří

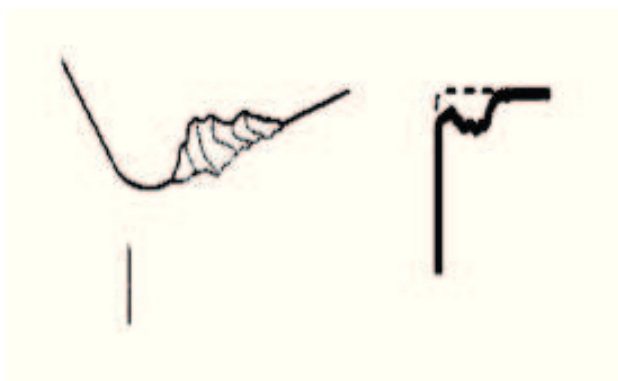
Hřebenové trhliny jsou druhem únavového opotřebení. Způsobují je tepelné šoky při obrábění. Nejčastěji se toto opotřebení objevuje při frézování. Teplota se mění rovněž změnou tloušťky třísky. Trhliny se tvoří kolmo na ostří. Částice materiálu nástroje se mezi jednotlivými trhlínami mohou vylamovat a to může vést až k náhlému lomu břitů. Aby se předešlo tomuto opotřebení, doporučuje se nepoužívat chladicích kapalin, protože zvyšuje teplotní rozdíly při záběru ostří do materiálu a výstupu z něj.



Obr. 3.10 Hřebenové trhliny na ostří [6]

3.3.6. Únavový lom

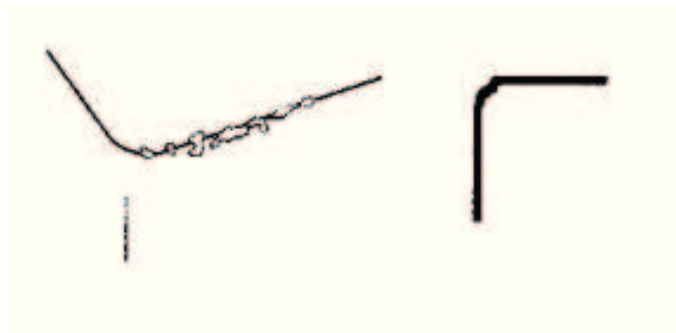
Únavový lom je způsobován mimořádně velkými změnami řezných sil. Vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, které jednotlivě nejsou dost velké, aby samotné způsobily lom. Lomové plochy probíhají paralelně s ostřím. Způsob vřezávání nástroje do materiálu obrobku a změna velikosti a směru působení řezné síly, může být pro pevnost a houževnatost vyměnitelné břitové destičky příliš náročné.



Obr. 3.11 Únavový lom [6]

3.3.7. Vydrolování ostří

Namísto stejnosměrného opotřebení se břit vydroluje. Je způsobeno špičkami zatížení, které způsobuje oddělování drobných částeczek nástrojového materiálu z povrchu břitu. Toto opotřebení vzniká nejčastěji u přerušovaného řezu.



Obr. 3.12 Vydrolování ostří [6]

3.3.8. Lom břitu nástroje

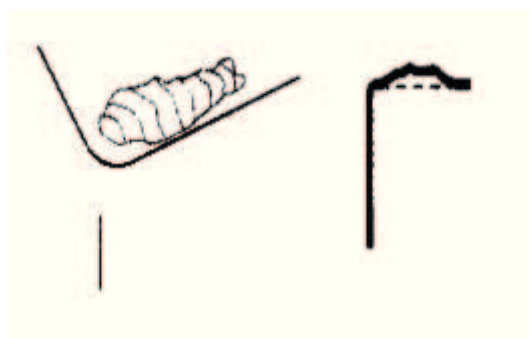
Křehký lom může být způsobený různými faktory. Nejčastěji je materiál řezného nástroje málo houževnatý, aby vyhovoval všem požadavkům na obrábění. Lomu břitu by se mělo za každou cenu zabránit, protože je často velmi nebezpečný. Lom břitu je nutné považovat za ukončení trvanlivosti nástroje a je to konec každého břitu.



Obr. 3.13 Lom břitu nástroje [6]

3.3.9. Tvoření nárůstku

Tvoření nárůstku se převážně vztahuje k teplotám a řezným rychlostem. Může však být způsoben i odlupováním vrstev v místě bříty, nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie bříty působí tato forma opotřebení negativně ještě proto, že se mohou částice materiálu bříty odlomit společně s navařeným nárůstkem, který je tvořen částicemi materiálu obrobku. Nízké teploty a vysoké tlaky přitom vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování \Rightarrow tvorba nárůstku. Zhoršená jakost obráběného povrchu je často prvním negativním důsledkem pokračování tvorby nárůstku. Nadměrná tvorba nárůstku může vést i k lomu břitové destičky.



Obr. 3.14 Tvoření nárůstku [6]

3.4. Experimentální měření opotřebení

Experimentální studium opotřebení a otupování bříty je základem pro určení empirických údajů pro optimalizaci řezných parametrů (trvanlivosti bříty). Významná část výzkumu byla v poslední době zaměřena přímo na monitorizaci a měření opotřebení nástroje, protože stav výsledného obrobku plně závisí na stavu samotného nástroje. [3]

3.4.1. Přímé metody měření opotřebení

Přímé metody je těžké aplikovat v důsledku toho, že otupující se plochy jsou nedostupné pro měřicí přístroje. Pak je nutné obrábění přerušit, což ovlivňuje charakter otupení v dalších etapách experimentu. Kromě toho se ve většině případů nástroj snímá z nožového držáku, což přináší změny podmínek obrábění při dalším upnutí a ustavení.

Mezi přímé metody patří:

- Metoda váhová (hmotnostní)
- Metoda radioaktivních izotopů (radioizotopová)
- Metoda mikrometrická
- Metoda optická (stínová)
- Metoda nanesené odporové vrstvy
- Metoda pneumatická [3]

3.4.2. Nepřímé metody měření opotřebení

Metody nepřímé se opírají o některé znaky, které proces opotřebení doprovází a provádí se přímo při procesu řezání. Všechny tyto metody jsou pouze přibližné. Patří sem:

- Vznik lesklého proužku na povrchu obrobku
- Vznik složek síly řezání
- Zvýšení potřebného výkonu řezání
- Zvýšení teploty řezání
- Vznik chvění nebo nežádoucího doprovodného zvuku
- Změna barvy a tvaru třísky
- Změna rozměrů obrobku
- Zhoršení drsnosti obrobku
- Emise signálů v pásmu ultrazvuku (akustická emise) [3]

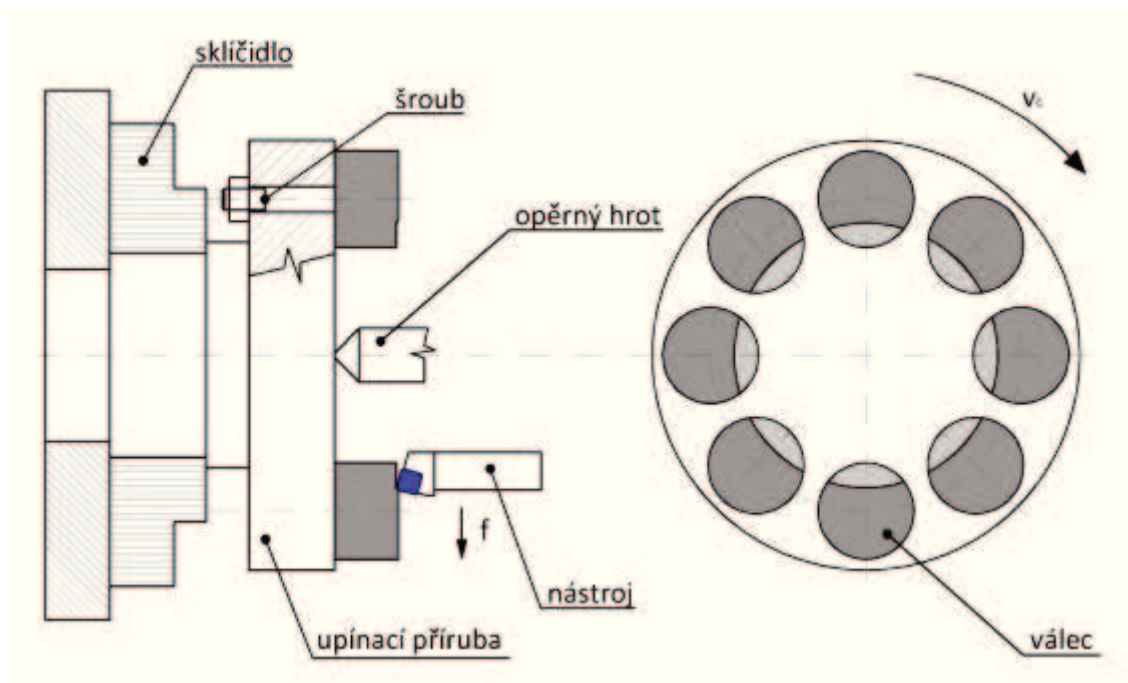
4. METODIKA TESTOVÁNÍ V PODMÍNKÁCH PŘERUŠOVANÉHO ŘEZU

U výrobců i uživatelů se v praxi používají obráběcí testy informující o podmínkách obrábění. Byly vyvinuty testy spolehlivosti pomocí soustružení přerušovaným řezem, které se provádí na speciálních přípravcích. Testování nástrojového materiálu v podmínkách přerušovaného řezu klade díky proměnného mechanického a tepelného zatížení vysoké nároky především na houževnatost nástrojového materiálu. [4]

Testy přerušovaného řezu se rozdělují na podélné soustružení (lištový test) a na příčné soustružení (čepový test).

4.1. Příčné soustružení

Provádí se na přípravku, na který se na čelní desku upínají válcové čepy. Počet čepů může být různý. Soustružení probíhá od středu k vnějšímu obvodu přípravku. Důležitým parametrem je řezná rychlost, která se v průběhu testu mění.



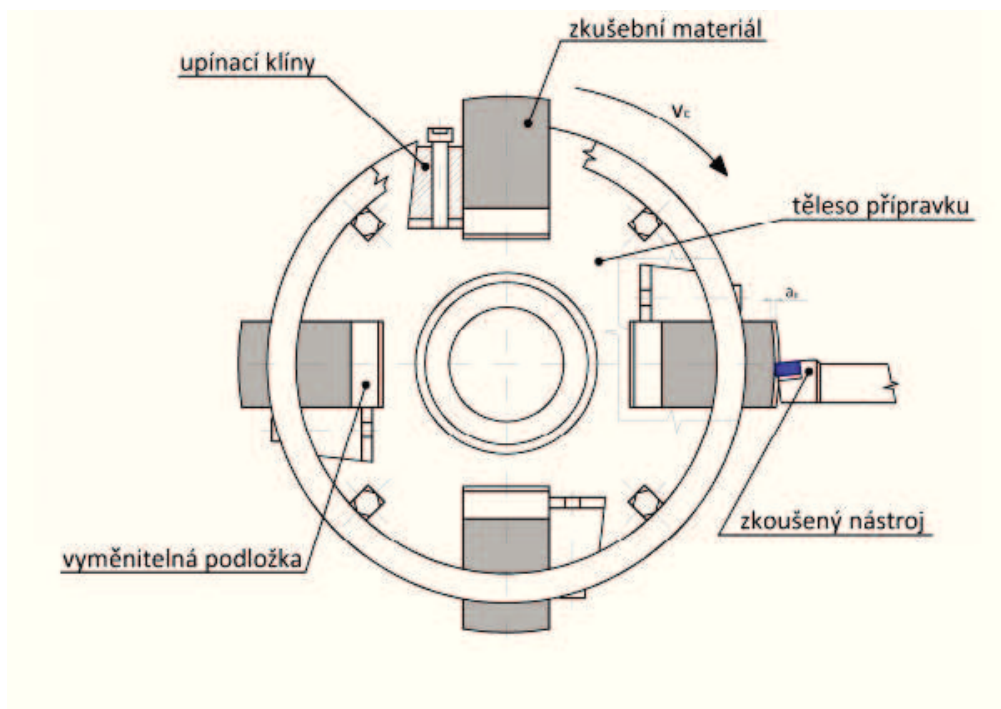
Obr. 4.1 Schéma přípravku pro čepový test [8]

Jakmile vnikne nůž do čepu, vytvoří se mechanický ráz. Soustružením jednotlivých vrstev čepu se vlivem posuvu mění i doba setrvání bříty v řezu, čímž se mění i poměr fáze řezání a ochlazování bříty. Proto je zkouška vhodná pro testy odolnosti bříty proti cyklickému teplotnímu a mechanickému zatížení.

4.2. Podélné soustružení

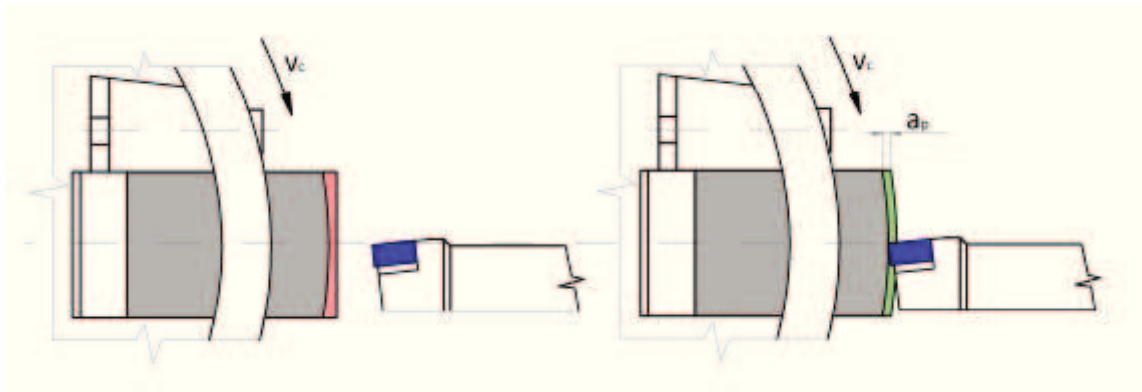
Zkouška přerušovaného řezu při podélném soustružení se provádí na speciálním přípravku. V přípravku jsou upnuty pomocí klínových čelistí, které zachycují odstředivou sílu, 4 lišty které se podkládají podložkami, aby bylo docíleno stálého řezného průměru. Čelisti se k přípravku připevňují šrouby. Díky snadné výměně můžeme kdykoliv lišty vyměnit. Pro testy se mohou používat různé materiály těchto lišt.

Testovaný nástroj se při testu posouvá v podélném směru od hrotu ke sklíčidlu soustruhu. Během jedné otáčky je zkoušený břit vystaven čtyřem rázům při vnikání do lišt. Před prvním měřením je potřeba odřezat první vrstvu třísky. Toto nám zaručí konstantní hloubku řezu při podélném soustružení. [4]



Obr. 4.2 Schéma přípravku pro podélné soustružení (lišťový test) [8]

Před samotným měřením, musí být simulátor upnut do sklíčidla soustruhu. Vzhledem k vysoké hmotnosti přípravku se k upnutí využívá mechanického zvedáku. Po té se do něj jednotlivě vloží lišty z daného materiálu. Na lištách je nutno před testem odřezat první hloubku třísky, abychom zajistili konstantní hloubku třísky (obr. 4.3)



Obr 4.3 Úprava lišt před vlastním obráběním [8]

5. TESTOVÁNÍ KERAMICKÝCH BŘTOVÝCH DESTIČEK TAEGUTEC

Náš test se prováděl metodou podélného soustružení (lišťový test). Přípravek, který jsme použili, je osazen čtyřmi lištami.

5.1. Obráběcí stroj

Pro test byl použit bulharský univerzální soustruh СЛИБЕН 3 М.



Obr. 5.1 Soustruh СЛИБЕН 3 М s přípravkem na simulaci přerušovaného řezu

5.2. Testované destičky

Testovány byly keramické vyměnitelné břitové destičky AW20 a AB30 od firmy TaeguTec.



Obr. 5.2 Keramické destičky AW20 (vlevo) a AB30 (vpravo)

5.3. Řezné podmínky

Zkouška keramických destiček se prováděla při dvou různých řezných rychlostech a čtyřech různých rychlostech posuvu. Hloubka řezu byla ve všech případech 1 milimetr.

Řezné rychlosti: $v_{c1} = 408 \text{ m/min}^{-1}$

$v_{c2} = 580 \text{ m/min}^{-1}$

posuvy: $f_1 = 0,15 \text{ mm/ot}$

$f_2 = 0,2 \text{ mm/ot}$

$f_3 = 0,25 \text{ mm/ot}$

$f_4 = 0,3 \text{ mm/ot}$

5.4. Materiál obrobku (lišt)

Všechny čtyři lišty, které jsou upnuty v přípravku, jsou z materiálu C45 (ČSN 12 050/1.0503). Nelegovaná ušlechtilá ocel pro tepelné zušlechťování.

Tab. 5.1 Chemické složení

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
[%]	0,42 – 0,5	0,5 – 0,8	Max. 0,4	Max. 0,045	Max. 0,045	Max. 0,4	Max. 0,4	Max. 0,1

Tab. 5.2 Mechanické vlastnosti

Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Tvrдость [HB]	Modul pružnosti v tahu [GPa]
Min. 325	Min. 540	Min. 17	Max. 225	211

5.5. Nástrojový držák

CSRNR 25 x 25 M12

Geometrie pro nástroj z řezné keramiky:

Ortogonální úhel hřbetu $\alpha_o = 6^\circ$

Ortogonální úhel čela $\gamma_o = -6^\circ$

Úhel sklonu ostří $\lambda_s = -6^\circ$

Úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 75^\circ$

Úhel špičky $\varepsilon_r = 90^\circ$



Obr. 5.3 Použitý nástrojový držák

Výpočet počtu rázů

Každý typ destičky byl testován při dvou řezných rychlostech a čtyřech posuvech. Na jedné destičce byly testovány dvě hrany. Kritický počet rázů byl stanoven na 6000 rázu. Jestliže destička vydrží kritický počet rázů, testování se ukončí a považuje se za úspěšný vzorek. Pokud destička nevydrží kritický počet rázů a poruší se dříve, vypočítáme hodnotu obrobené délky ze vztahu:

$$R = \frac{4 \cdot l}{f} \quad (5.1)$$

Kde: Rpočet rázu před poškozením destičky

l.....obrobená délka [mm]

f.....posuv [mm]

Podle uvedeného vztahu vypočítáme i kritickou obrobenou délku

Tab. 5.3 Hodnoty kritických délek pro 6000 rázů

Posuv f [mm]	0,15	0,2	0,25	0,3
Kritická délka l_{kr} [mm]	225	300	375	450

5.6. Vyhodnocovací zařízení

Vyhodnocení testu se provedlo na mikroskopu Intracomicro s digitální kamerou. Mikroskop je napojen k počítači kde se pomocí programu Import 5 ukládaly fotky břitových destiček.

5.7. Testování keramických destiček

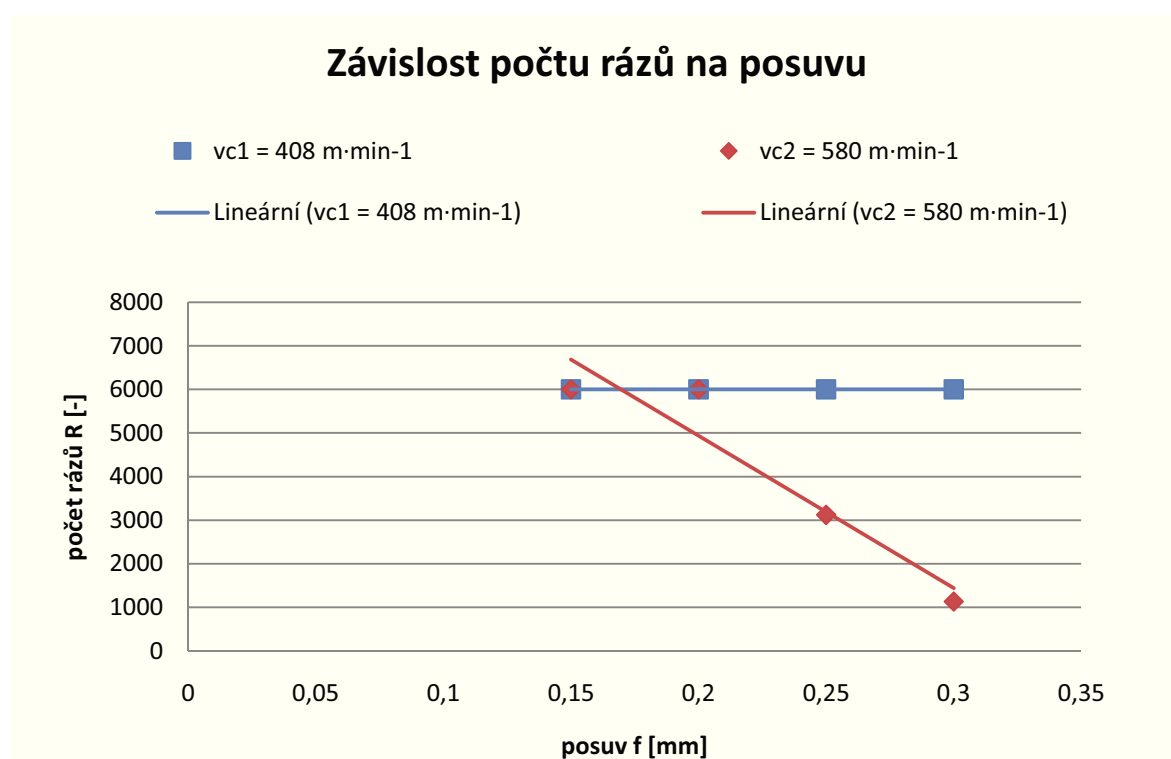
5.7.1. Destička TaeguTec AW20

Tab. 5.4 Naměřené hodnoty pro destičku TaeguTec AW20 a řeznou rychlost v_{cl}

$v_{cl} = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			
f [mm]	l [mm]	R [-]	Označení destičky
0,15	225	6000	1·
0,2	300	6000	1··
0,25	375	6000	2·
0,3	450	6000	2··

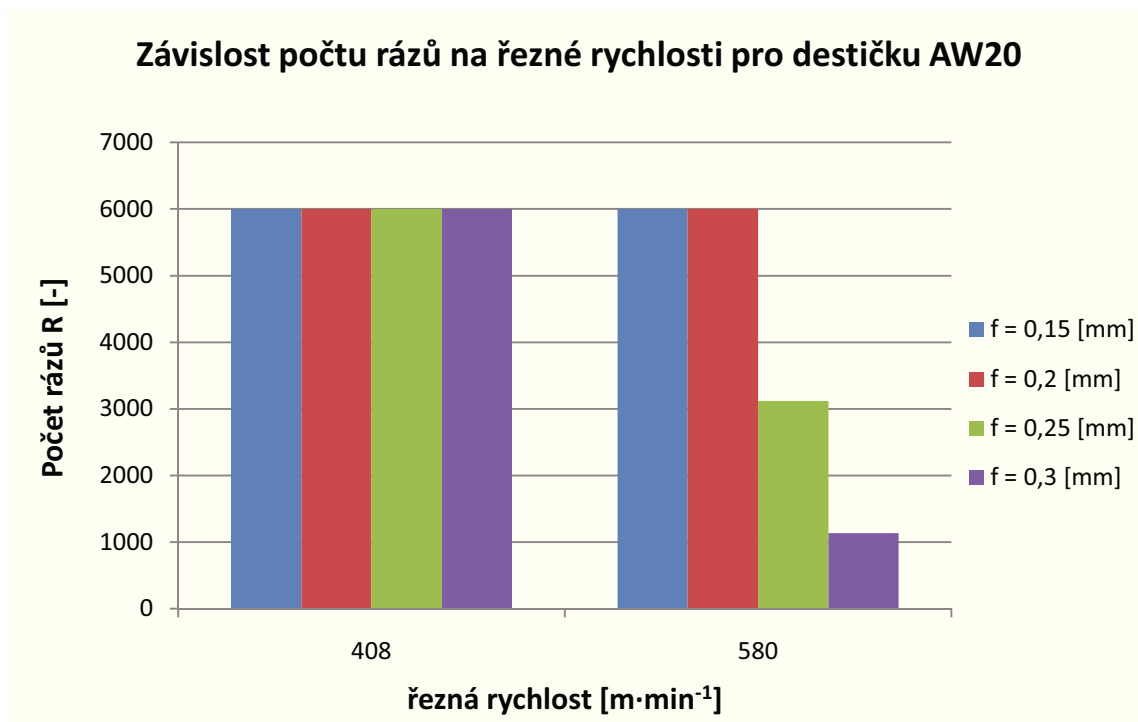
Tab. 5.5 Naměřené hodnoty pro destičku TaeguTec AW20 a řeznou rychlost v_{c2}

$v_{c2} = 580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			
f [mm]	l [mm]	R [-]	Označení destičky
0,15	225	6000	3·
0,2	300	6000	3··
0,25	195	3120	4·
0,3	85	1133	4··



Obr. 5.4 Graf závislosti počtu rázů na posuvu pro destičku AW20






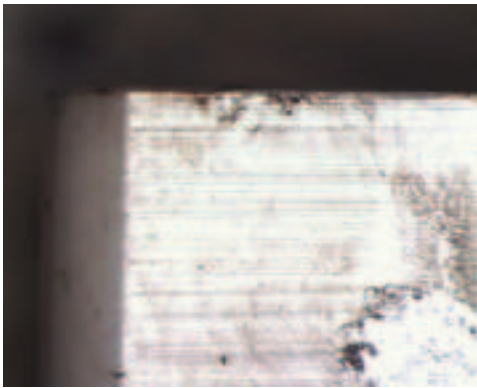


Z grafu vidíme, že destička AW20 vydržela kritický počet rázů pro všechny čtyři posuvy. Při vyšší řezné rychlosti odolnost vůči rázům s rostoucím posuvem klesá.





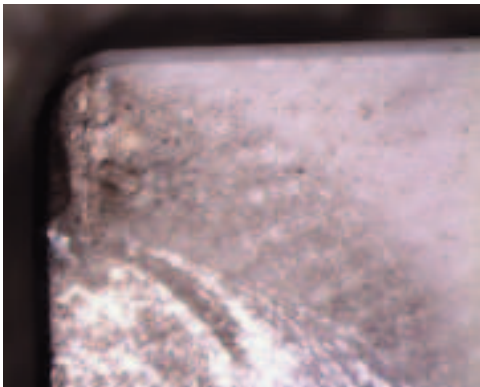

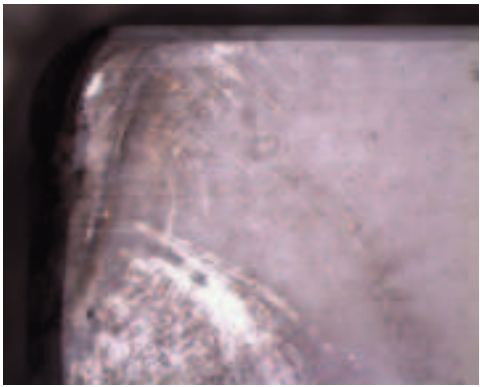



Obr. 5.5 Graf závislosti rázů na řezné rychlosti pro destičku AW20

Z grafu je patrné že počet rázů pro destičku AW20 se zvyšujícím se posuvem klesá jen pro řeznou rychlost $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Tab. 5.6 Snímky břitových destiček AW20

VBD	Čelo	Hřbet
1·		
1··		
2·		
2··		

3·		
3..		
4·		
4..		

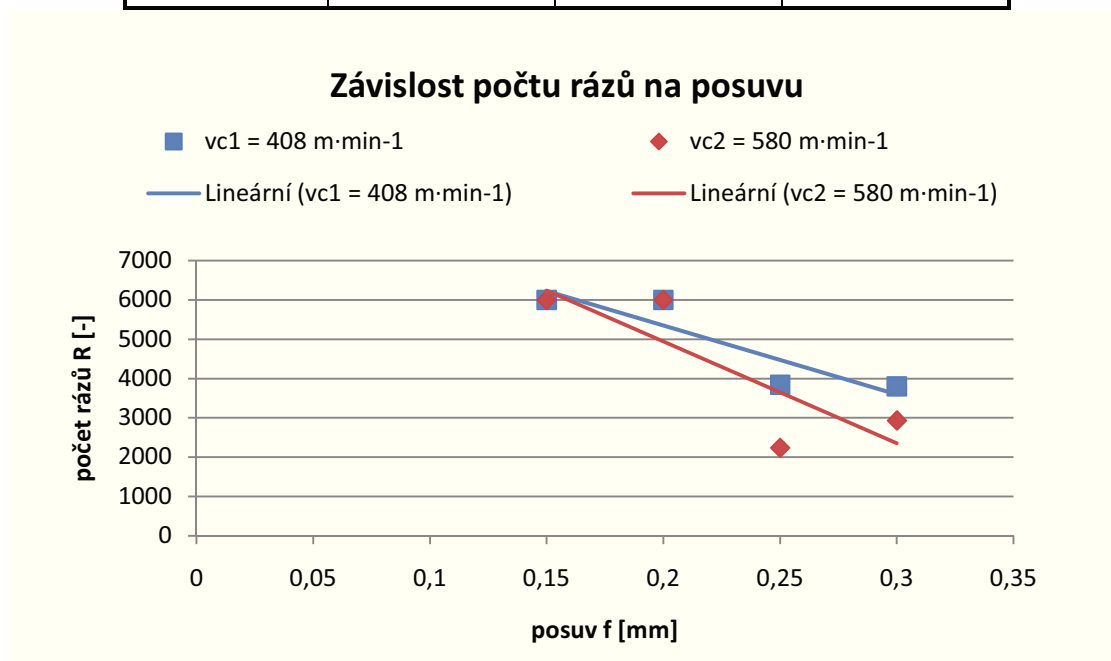
5.7.2. Destička TaeguTec AB30

Tab. 5.7 Naměřené hodnoty pro destičku TaeguTec AB30 a řeznou rychlost v_{c1}

$v_{c1} = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			
f [mm]	l [mm]	R [-]	Označení destičky
0,15	225	6000	5·
0,2	300	6000	5··
0,25	240	3840	6·
0,3	285	3800	6··

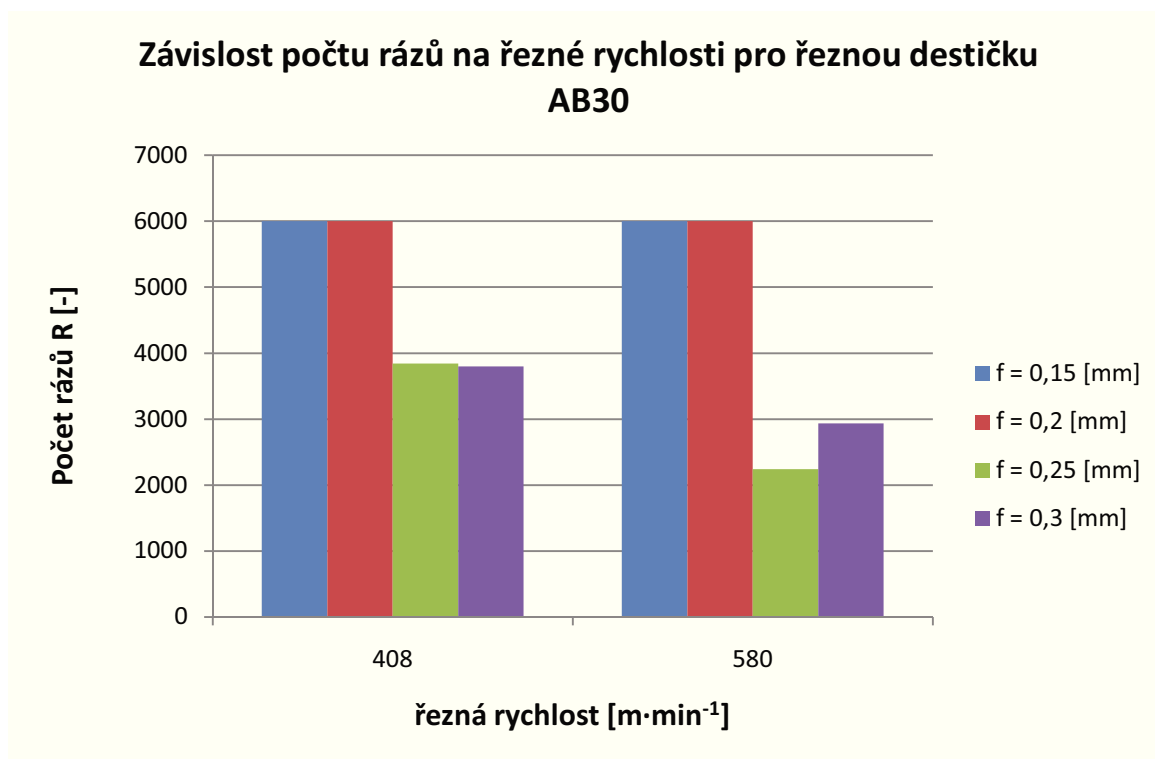
Tab. 5.8 Naměřené hodnoty pro destičku TaeguTec Ab30 a řeznou rychlost v_{c2}

$v_{c2} = 580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			
f [mm]	l [mm]	R [-]	Označení destičky
0,15	225	6000	7·
0,2	300	6000	7··
0,25	140	2240	8·
0,3	220	2933	8··



Obr. 5.6 Graf závislosti počtu rázů na posuvu pro destičku AB30

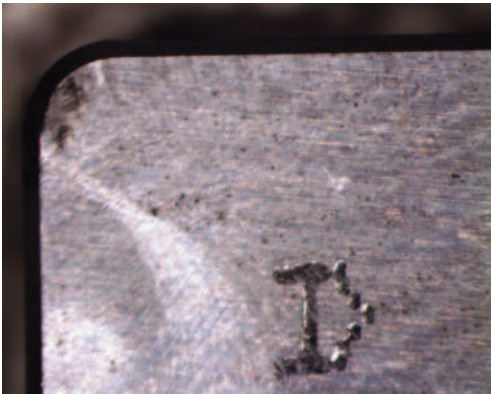
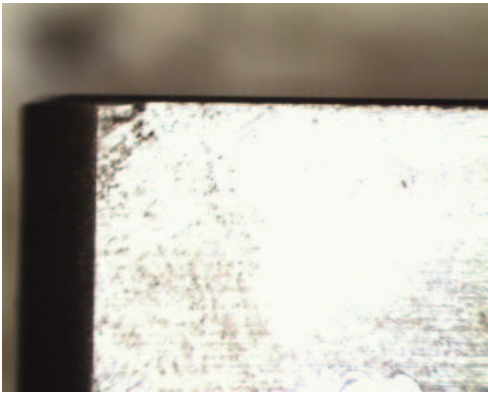

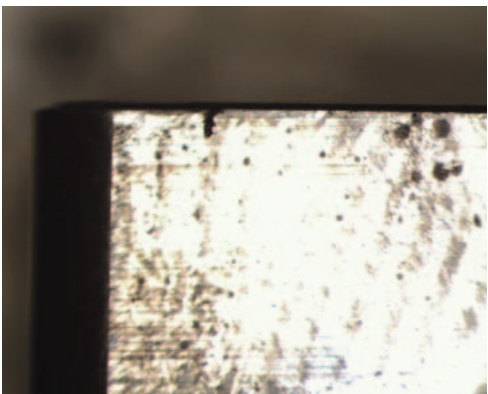

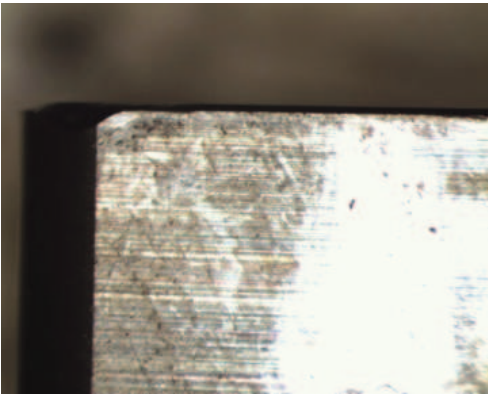
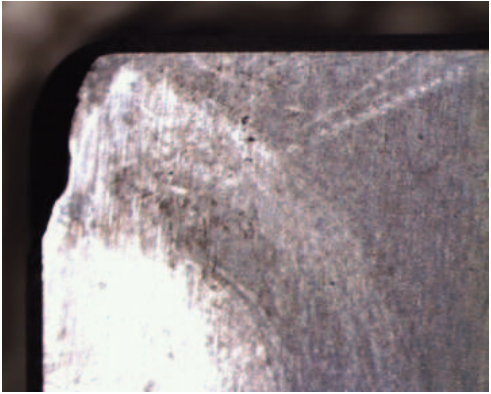
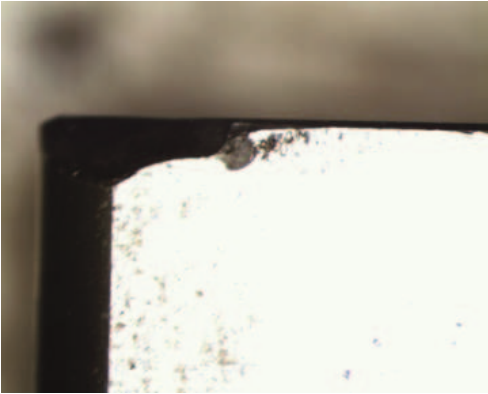
Na grafu vidíme, že počet rázů pro destičku AB30 klesá se zvyšujícím se posuvem pro obě rychlosti. Pro řeznou rychlost $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je pokles rázů rychlejší než pro rychlost $408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Strmost klesání počtu rázů se pro obě rychlosti příliš neliší.

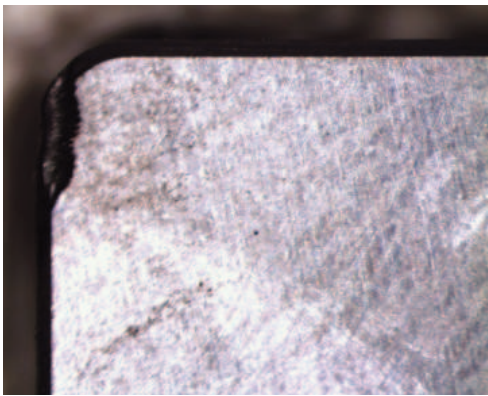

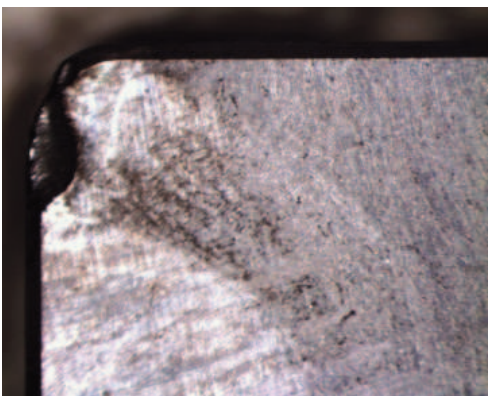
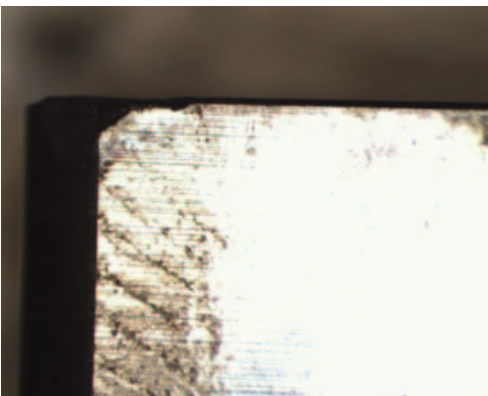


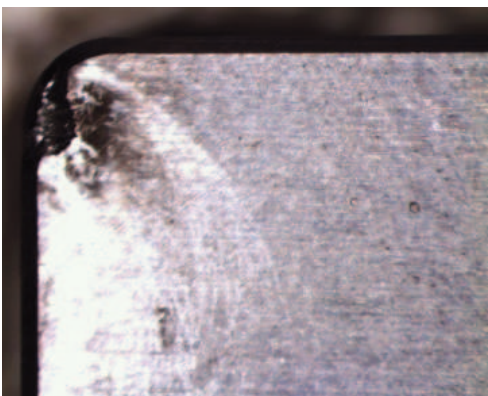



Obr. 5.7 Graf závislosti počtu rázů na řezné rychlosti pro destičku AB30

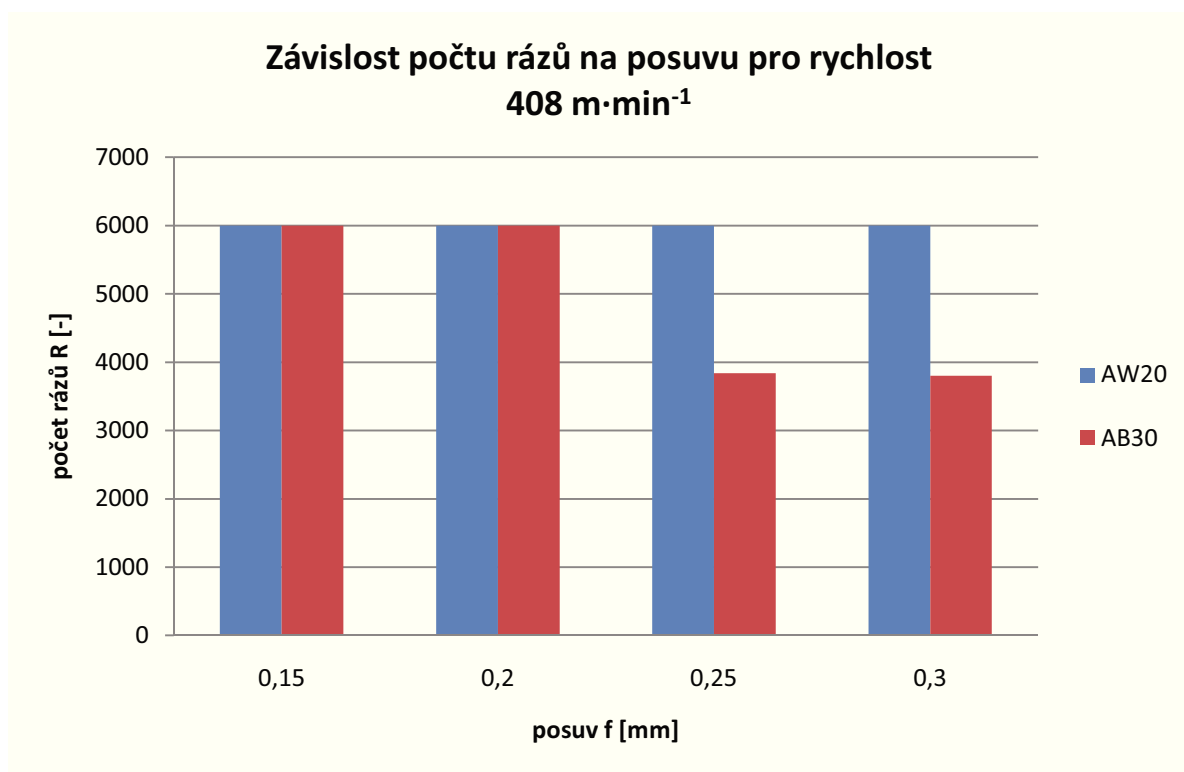
Z Grafu závislosti počtu rázů na řezné rychlosti je zřejmé, že destička vydrží kritický počet rázů pro posuv 0,15 mm a 0,2 mm při obou rychlostech. Při posuvu 0,25 mm počet rázů výrazně klesne a zůstává přibližně stejný pro obě testované řezné rychlosti.

Tab. 5.9 Snímky břitových destiček AB30

VBD	Čelo	Hřbet
5.		
5..		
6.		
6..		

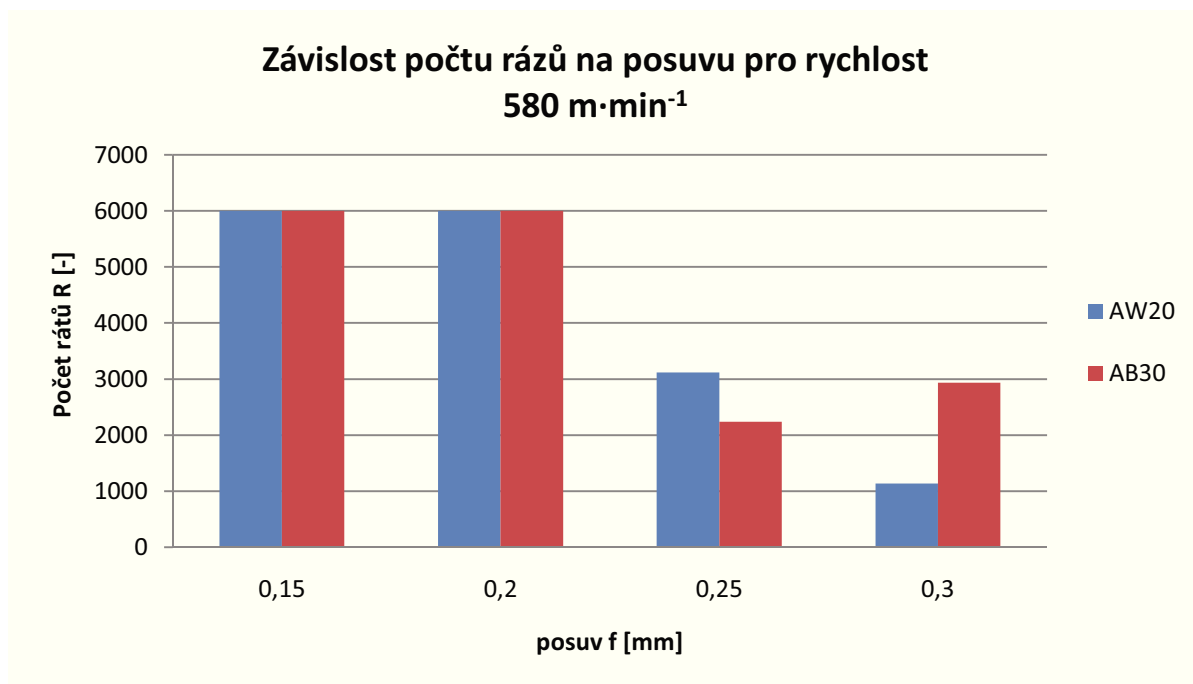
7.		
7.		
8.		
8.		

5.8. Porovnání břitových destiček AW20 a AB30



Obr. 5.8 Graf závislosti počtu rázů na posuvu pro řeznou rychlost 408 m·min⁻¹

Při porovnání obou destiček vidíme, že pro řeznou rychlost 408 m·min⁻¹ je vhodnější destička AW20 protože vydržela kritický počet rázů pro všechny posuvy. Počet rázů pro destičku AB30 při posuvu 0,25 mm a 0,3 mm klesla.



Obr. 5.8 Graf závislosti počtu rázů na posuvu pro řeznou rychlost $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Z grafu je vidět počet rázů pro destičku AW20 při posuvu nad 0,2 mm prudce klesá. Je patrné, že pro řeznou rychlost $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je vhodnější řezná destička AB30. Počet rázů pro posuv 0,25 mm rovněž prudce klesl, ale naopak pro posuv 0,3 mm počet rázů vzrostl. Výsledný rozdíl srovnání destiček není příliš velký.

6. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo otestovat keramické břitové destičky v podmínkách přerušovaného řezu. Přerušovaný řez jsme simulovali na univerzálním soustruhu pomocí speciálního přípravku, který měla k dispozici katedra obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TUO. Test byl proveden na půdě školy.

Celkem jsme otestovali dva druhy keramických destiček firmy TaeguTec na materiálu C45 (ČSN 12 050/1.0503). Oba druhy destiček byly otestovány při čtyřech různých posuvech f (0,15 mm; 0,2 mm; 0,25 mm; 0,3 mm), a dvou řezných rychlostech ($408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$). Aby destička vyhověla testu, musela vydržet kritických 6000 rázů.

Na začátku testu jsme do přípravku upnuli 4 lišty z materiálu C45. Nejprve jsme museli odebrat první třísku po celé délce přípravku, aby při samotném testování destiček byla hloubka záběru na všech lištách stejná. Poté jsme začali testovat jednotlivé keramické destičky. Tříska byla odebírána od koníka směrem ke sklíčidlu. Test byl ukončen po porušení břitové destičky nebo po dosažení 6000 rázů. Hodnoty byly zapsány a zpracovány v tabulkách a grafech. Opotřebením keramických destiček bylo po testu nafoceno na mikroskopu.

Nejlépe dopadla destička AW20. Pro rychlost $408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ dosáhla kritického počtu rázů pro všechny čtyři posuvy. Při rychlosti $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ dosáhla šesti tisíc rázů pro první dva posuvy (0,15 mm; 0,2 mm). U posuvů 0,25 mm a 0,3 mm začal počet rázů prudce klesat. Destička AB30 už nebyla tak úspěšná. Dosáhla kritického počtu rázů při posuvu 0,15 mm a 0,2 mm pro obě testované řezné rychlosti. U první rychlosti ($408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) pak při vyšších posuvech počet rázů klesl přibližně na 3800. Při řezné rychlosti $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuvu 0,25 mm počet rázů klesl až na jednu třetinu, ale pro posuv 0,3 mm vydržela destička rázů víc. Z tohoto hlediska je pro obrábění vyššími rychlostmi a při použití vyšších posuvů vhodnější než destička AW20.

Z tohoto testu jsme zjistili, že keramické řezné destičky je možné použít pro obrábění s rázy. Destička AW20 je nejvhodnější pro menší řezné rychlosti. Destičku AB30 můžeme zase používat při obrábění s nižšími hodnotami posuvu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235s, ISBN 978-80-254-2250-2
- [2] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část*. Brno: Vysoké učení technické, ústav strojírenské technologie, 2003. 138 s.
- [3] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II - 1. díl*, VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 2007, 1. vydání, 126 s., ISBN 978-80-248-1641-8
- [4] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*: 2005, 101s, Disertační práce. Ostrava: FS VŠB-TUO.
- [5] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů 1. část*. Ostrava: FS VŠB-TUO, 2008, 142s, ISBN 978-80-248-1053-9
- [6] TaeguTec – *Opotřebení břitů a řešení problémů* [online]. Příručka obrábění [cit. 2011-5-12]. Dostupné na: <http://www.taegutec.cz/innotool/_prirucka_obrabeni_321.pdf>
- [7] Akrostal – *Technické údaje o materiálech* [online]. [cit. 2011-11-5]. Dostupné na: <<http://www.akrostal.pl/cs/1050345.html>>
- [8] REINER, Jan. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu*. Ostrava, 2009. 73 s. Diplomová práce. FS VŠB-TU
- [9] *Keramika* [online]. c2006 [cit 2011-22-5] Dostupné na: <<http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>>
- [10] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABÁČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina: EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8
- [11] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP Robert. *Top trendy v obrábání, II. Část – Nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7
- [12] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; Sadílek, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Tab. 2.1 Teploty tavení a tvrdosti vybraných keramických materiálů [1]	6
Obr. 2.2 Rozdělení řezné keramiky [9]	6
Tab. 2.2 Porovnání ŘK s ostatními řeznými materiály [9]	8
Tab. 2.3 Oblasti využití nástrojů z řezné keramiky [9]	9
Obr. 3.1 Vliv teploty na jednotlivé mechanismy opotřebení [2]	11
Obr. 3.2 Vliv řezných podmínek na opotřebení [2]	11
Obr. 3.3 Délkové charakteristiky otupení bříty	11
Obr. 3.4 Časová závislost opotřebení různé rychlosti [2]	12
Obr. 3.5. Typické průběhy opotřebení VB, VR a KT na době řezání [3]	12
Obr. 3.6 Opotřebení hřbetu [6]	14
Obr. 3.7 Opotřebení ve tvaru žlábků na čele bříty [6]	14
Obr. 3.8 Plastická deformace bříty [6]	15
Obr. 3.9 Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě bříty [6]	15
Obr. 3.10 Hřebenové trhliny na ostří [6]	16
Obr. 3.11 Únavový lom [6]	16
Obr. 3.12 Vydrolování ostří [6]	17
Obr. 3.13 Lom bříty nástroje [6]	17
Obr. 3.14 Tvoření nárůstku [6]	18
Obr. 4.1 Schéma přípravku pro čepový test [8]	20
Obr. 4.2 Schéma přípravku pro podélné soustružení (lišťový test) [8]	21
Obr. 4.3 Úprava lišt před vlastním obráběním [8]	22
Obr. 5.1 Soustruh СЛИБЕИ 3 М s přípravkem na simulaci přerušovaného řezu	23
Obr. 5.2 Keramické destičky AW20 a AB30	23
Tab. 5.1 Chemické složení obrobku	24
Tab. 5.2 Mechanické vlastnosti obrobku	24
Obr. 5.3 Použitý nástrojový držák	25
Tab. 5.3 Hodnoty kritických délek pro 6000 rázů	26
Tab. 5.4 Naměřené hodnoty pro destičku TaeguTec AW20 a řeznou rychlost v_{c1}	26
Tab. 5.5 Naměřené hodnoty pro destičku TaeguTec AW20 a řeznou rychlost v_{c2}	27
Obr. 5.4 Graf závislosti počtu rázů na posuvu pro destičku AW20	27
Obr. 5.5 Graf závislosti rázů na řezné rychlosti pro destičku AW20	28
Tab. 5.6 Snímky břitových destiček AW20	29

Tab. 5.7 Naměřené hodnoty pro destičku TaeguTec AB30 a řeznou rychlost v_{c1}	31
Tab. 5.8 Naměřené hodnoty pro destičku TaeguTec Ab30 a řeznou rychlost v_{c2}	31
Obr. 5.6 Graf závislosti počtu rázů na posuvu pro destičku AB30	31
Obr. 5.7 Graf závislosti počtu rázů na řezné rychlosti pro destičku AB30	32
Tab. 5.9 Snímky břitových destiček AB30	33
Obr. 5.8 Graf závislosti počtu rázů na posuvu pro řeznou rychlost $408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	35
Obr. 5.8 Graf závislosti počtu rázů na posuvu pro řeznou rychlost $580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	36